



# 물은 H<sub>2</sub>O인가?

.....  
돌턴, 아보가드로, 그리고 모형 제작자들

# 물이 $\text{H}_2\text{O}$ 라는 것을 어떻게 아는가?

---

관측 사실 : 물을 구성하는 수소와 산소의 질량비 1:8

사전 지식 : 수소의 원자량은 1, 산소의 원자량은 16

---

결론 : 원자 수가 2:1이어야 총 질량비가  $2:16=1:8$

# 수소와 산소의 원자량이 1:16이라는 것은 어떻게 아는가?

---

관측 사실 : 물을 구성하는 수소와 산소의 결합비 1:8

사전 지식 : 물의 분자식은  $\text{H}_2\text{O}$

---

결론 : 원자량이 1:16이어야 총 질량비는  $2:16=1:8$



## 존 돌턴(1766-1844)

.....

- ▶ 영국의 화학자
- ▶ 가난한 집안 출신의 퀘이커 교도
- ▶ 독학으로 과학을 공부한 후 교사로 생계 유지
- ▶ 화학적 원자론 주장



A  
NEW SYSTEM  
OF  
CHEMICAL PHILOSOPHY.

---

---

PART I.

---

---

BY  
JOHN DALTON.

---

Manchester :

Printed by S. Russell, 125, Deansgate,  
FOR  
R. BICKERSTAFF, STRAND, LONDON.  
1808.

## 화학철학의 새로운 체계

.....

- ▶ 같은 원소의 원자는 같은 크기와 질량, 성질을 가진다.
- ▶ 원자는 더 이상 쪼개질 수 없다.
- ▶ 원자는 다른 원자로 바뀔 수 없으며 없어지거나 생겨날 수 없다.
- ▶ 화학반응은 원자와 원자의 결합 방법만 바뀌는 것으로, 원자가 다른 원자로 바뀌지는 않는다. 따라서 질량이 보존된다.

# 탄소의 두 가지 산화물

---

## 1번 산화물

$$\text{C:O} = 44:56$$

$$\begin{aligned}\text{C:O} &= 44/44:56/44 \\ &= 1:1.3\end{aligned}$$



일산화탄소

## 2번 산화물

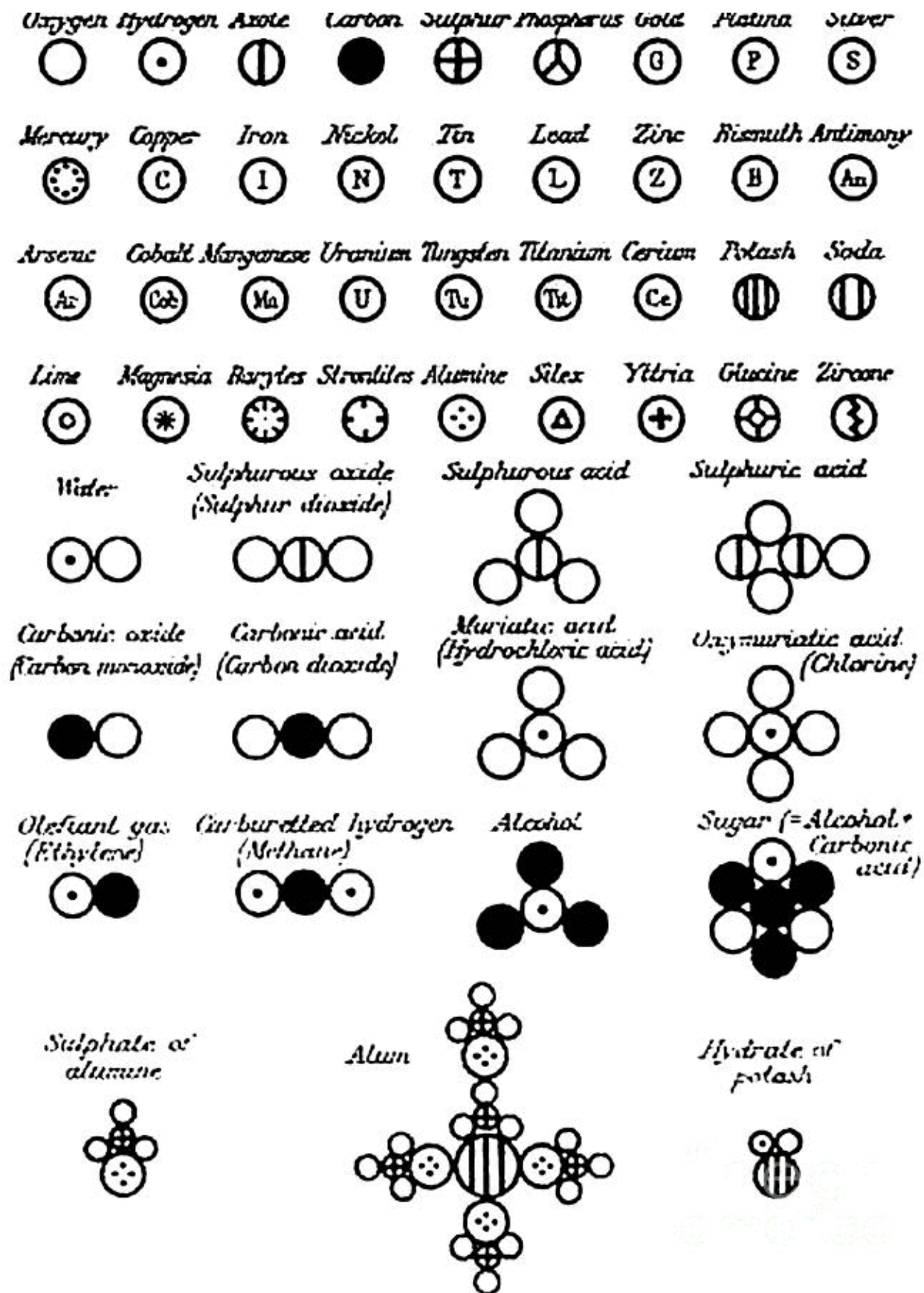
$$\text{C:O} = 28:72$$

$$\begin{aligned}\text{C:O} &= 28/28:72/28 \\ &= 1:2.6\end{aligned}$$



이산화탄소



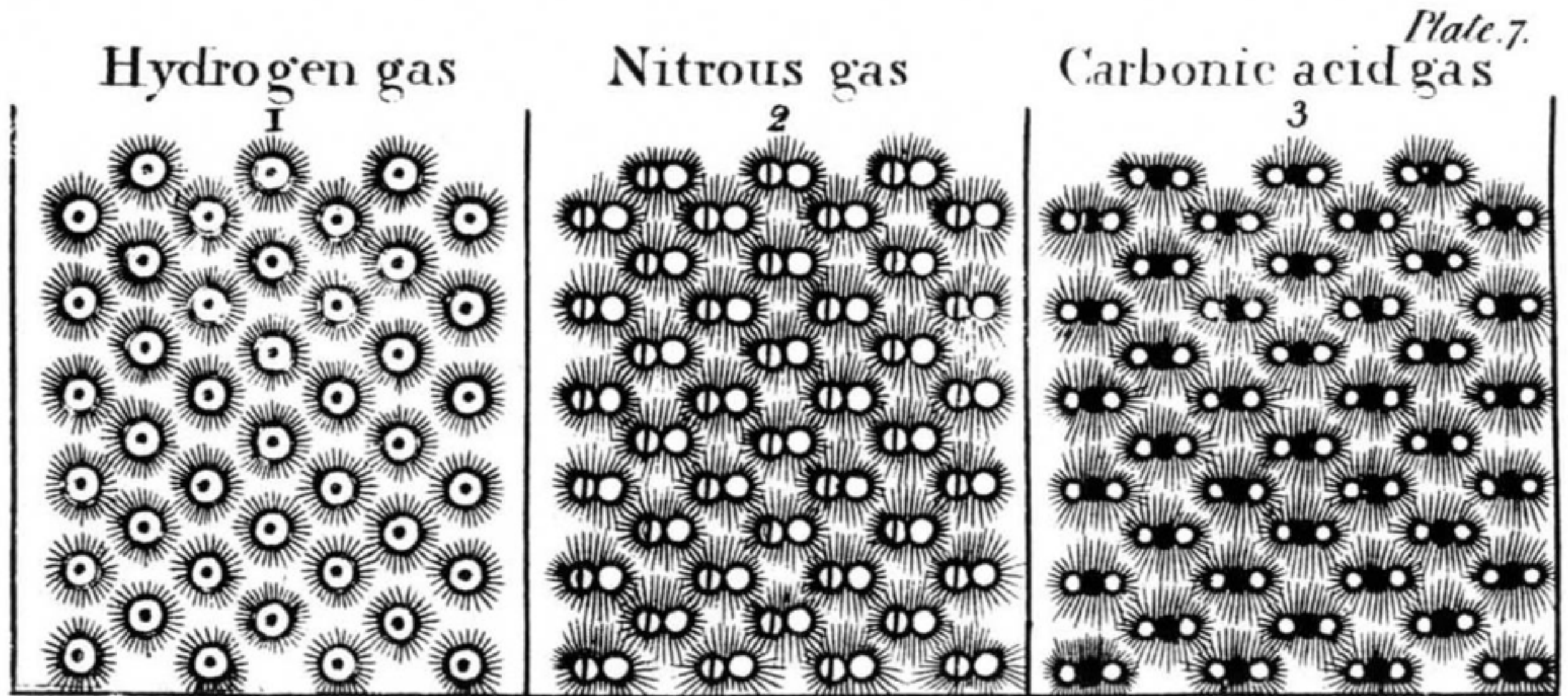


# 원소와 화합물

- ▶ 최대 단순성의 규칙
- ▶ 화학적 친화력에 의한 결합
- ▶ 같은 종류의 원자 사이에는 척력만 존재한다고 생각
- ▶ 모든 원자는 열소 포함 열소끼리는 서로 반발

# 돌탄의 기체들

.....







## 아보가드로(1776-1856)

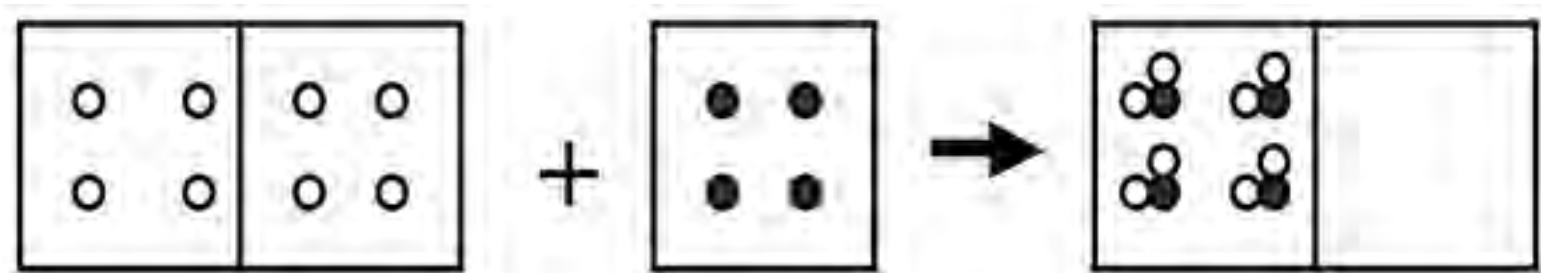
.....

- ▶ 이탈리아의 물리학자
- ▶ 독학으로 과학을 공부하여 베르첼리 왕립 전문학교의 과학 교사로 활동하다 1820년 토리노 대학의 수리물리학 교수가 됨
- ▶ EVEN(Equal Volume, Equal Number) 가설 주장
- ▶ 단일 원소로 이루어진 기체들도  $H_2$ ,  $O_2$ 와 같은 분자의 형태로 존재한다고 주장
- ▶ 1811년에 발표된 그의 이론은 대부분의 과학자에게 거부당함.

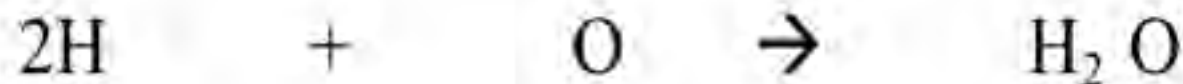
# 게이-뤼삭의 기체 반응의 법칙에 대한 아보가드로의 이해

---

- ▶ 물이 생성될 때  
수소 : 산소 = 2부피 : 1부피
- ▶ 질소 : 산소 = 2 : 1 또는 1 : 1 또는 1 : 2
- ▶ 동일 부피 동일 입자 수(EVEN)일 경우, 물은 H<sub>2</sub>O!



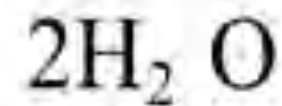
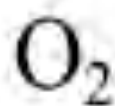
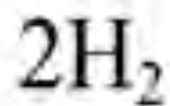
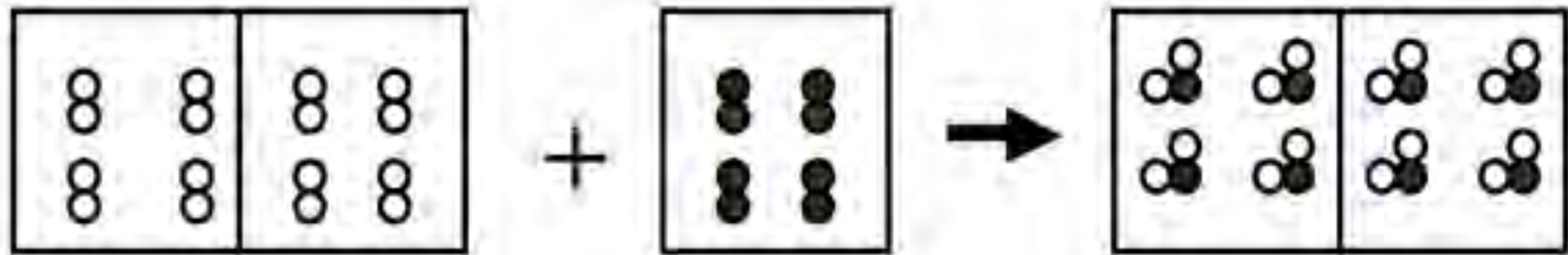
그러나 실제로 생성되는  
수증기는 2부피!



## 분자 가설을 이용한 해결

---

- ▶ 애초에 수소와 산소도 2개의 원자가 결합된 분자의 형태로 존재
- ▶ EVEN 가설은 원자가 아니라 분자에 적용



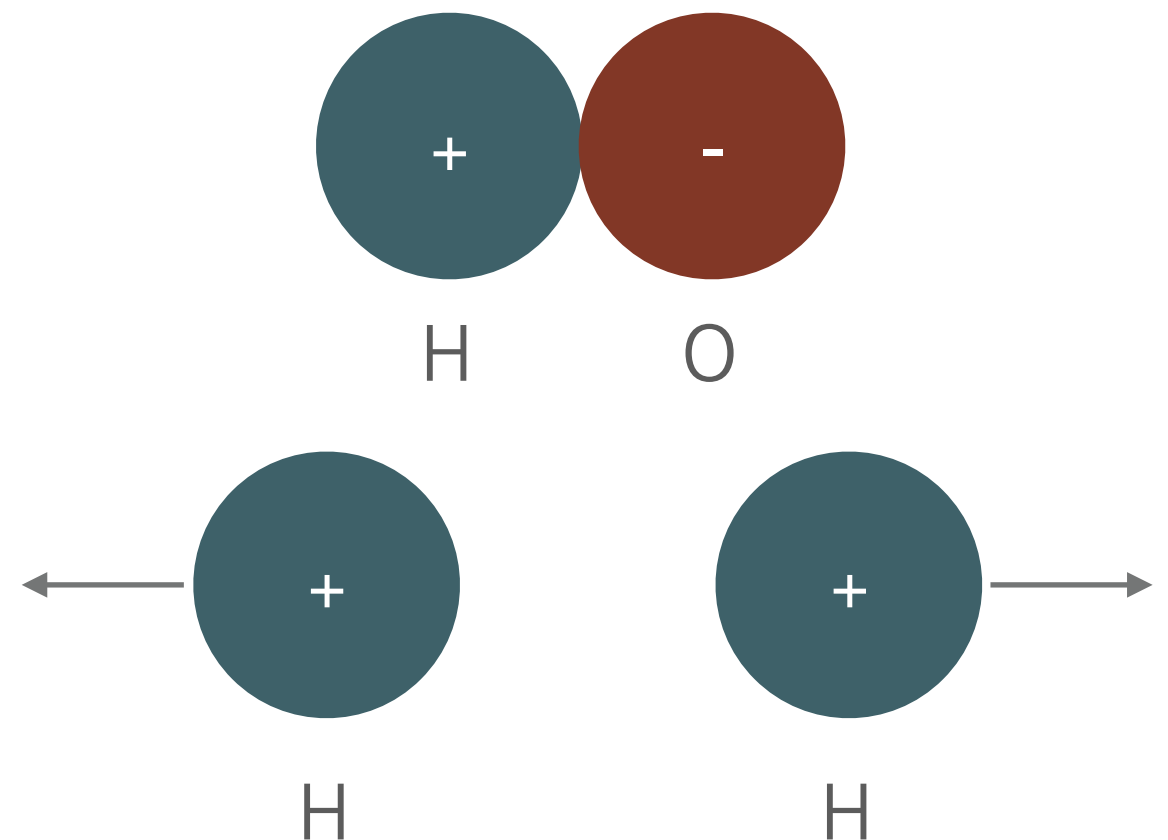




베르셀리우스

## 아보가드로에 대한 반응

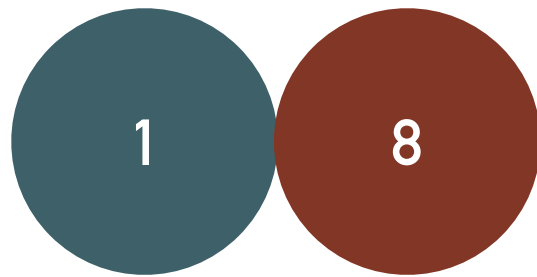
- ▶ 근거가 없는 가설(EVEN) 위에 임시방편의 가설(이원자 분자)까지 얹은 형태!
- ▶ 같은 종류의 원자들이 어떻게 서로 결합해 있을 수 있겠는가?



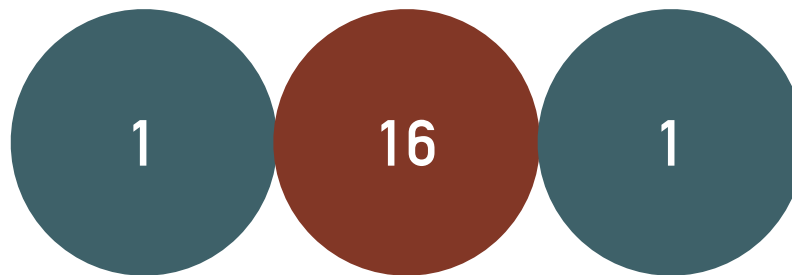
# 원자의 실재성에 대한 실증주의적 회의

---

➤ 관측 결과 : 수소 1g + 산소 8g → 물 9g



돌턴



아보가드로

➤ 실증주의 경향의 확대

- 무엇이 옳은지 다투지 말고 그냥 관측할 수 있는 이야기만 하자!
- 1830년대 교과서에서는 원자 개념 삭제
- 화학에 필요한 것은 산소와 수소의 결합비 1:8뿐!



## *Anions.*

Oxygen . . . . .	8	Selenic acid . . . . .	64	Tartaric acid . . . . .	66
Chlorine . . . . .	35.5	Nitric acid . . . . .	54	Citric acid . . . . .	58
Iodine . . . . .	126	Chloric acid . . . . .	75.5	Oxalic acid . . . . .	36
Bromine . . . . .	78.3	Phosphoric acid . . . . .	35.7	Sulphur (?) . . . . .	16
Fluorine . . . . .	18.7	Carbonic acid . . . . .	22	Selenium (?) . . . . .	
Cyanogen . . . . .	26	Boracic acid . . . . .	24	Sulpho-cyanogen	
Sulphuric acid . . . . .	40	Acetic acid . . . . .	51		

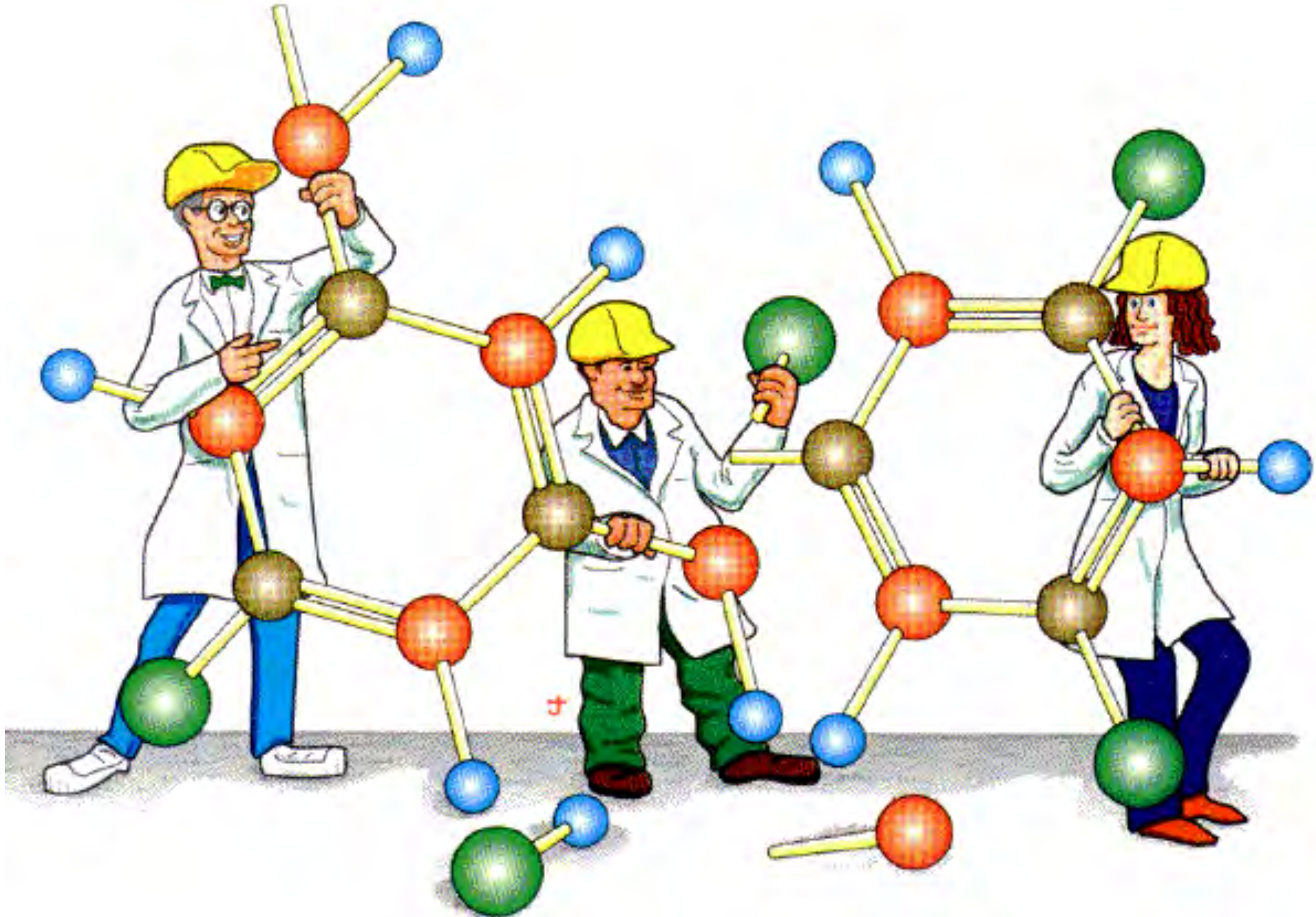
## *Cations.*

Hydrogen . . . . .	1	Cadmium . . . . .	55.8	Soda . . . . .	31.3
Potassium . . . . .	39.2	Cerium . . . . .	46	Lithia . . . . .	18
Sodium . . . . .	23.3	Cobalt . . . . .	29.5	Baryta . . . . .	76.7
Lithium . . . . .	10	Nickel . . . . .	29.5	Strontia . . . . .	51.8
Barium . . . . .	68.7	Antimony . . . . .	64.6?	Lime . . . . .	28
Strontium . . . . .	43.8	Bismuth . . . . .	71	Magnesia . . . . .	20.7
Calcium . . . . .	20.5	Mercury . . . . .	200	Alumina . . . . .	(?)
Magnesium . . . . .	12.7	Silver . . . . .	108	Protoxides generally.	
Manganese . . . . .	27.7	Platina . . . . .	98.6?	Quinia . . . . .	171.6
Zinc . . . . .	32.5	Gold . . . . .	(?)	Cinchona . . . . .	160
Tin . . . . .	57.9			Morphia . . . . .	290
Lead . . . . .	103.5	Ammonia . . . . .	17	Vegeto-alkalies gene-	
Iron . . . . .	28	Potassa . . . . .	47.2	rally.	
Copper . . . . .	31.6				



## 제3의 시도 : 시각적 모형의 제작

.....



# 다양한 유기화합물에 대한 질량 분석과 분자식

	기체비중	C	H	O	N	Cl	돌턴식	아보가드로식
메테인	16	3	1				CH <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
메틸클로라이드	50.5	12	3			35.5	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl	CH <sub>3</sub> Cl
메탄올	32	3	1	4			CH <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub> O
메틸아민	31	12	5		14		C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> N <sub>2</sub>	CH <sub>5</sub> N
에테인	30	4	1				C <sub>2</sub> H <sub>3</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
에탄올	46	12	3	8			C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O
에테르	74	24	5	8			C <sub>4</sub> H <sub>5</sub> O	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O
아세트산	60	6	1	8			CHO	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>
아세타민	59	24	5	16	14		C <sub>4</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub> N <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ON
벤젠	78	12	1				C <sub>2</sub> H	CH

# 유기화학의 문제들

---

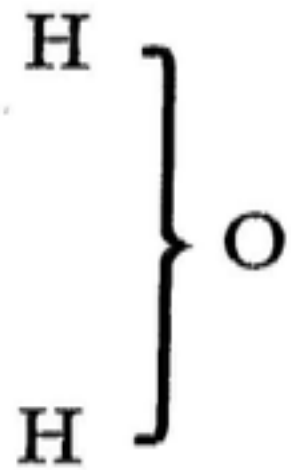
- ▶ 에탄올  $C_2H_6O$  / 에테르  $C_4H_{10}O$  / ...
- ▶ 이 수많은 유기화합물들을 모조리 외워야 할까?
- ▶ 일단 물질을 체계적으로 정리하는 방법부터 필요!
  - ▶ 성질보다는 분자의 구성 방식에 초점



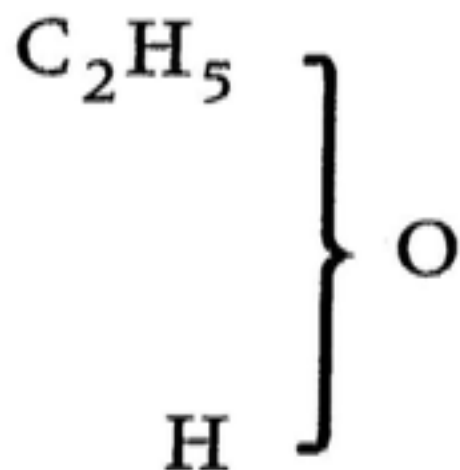
# 유형 이론(TYPE THEORY)

---

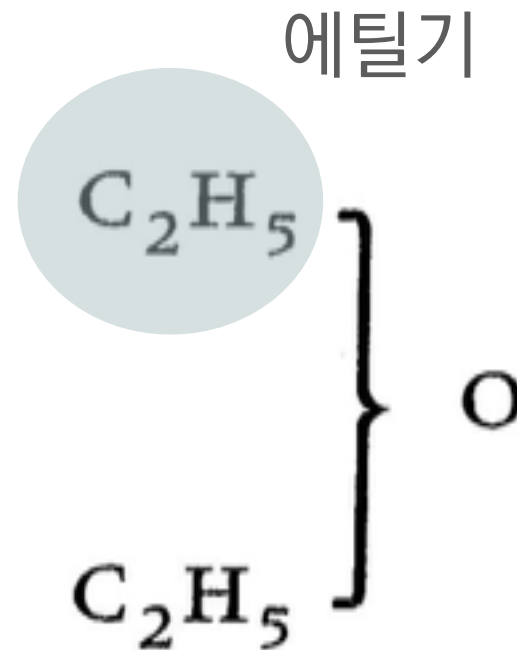
## ➤ 물의 유형을 지닌 분자들



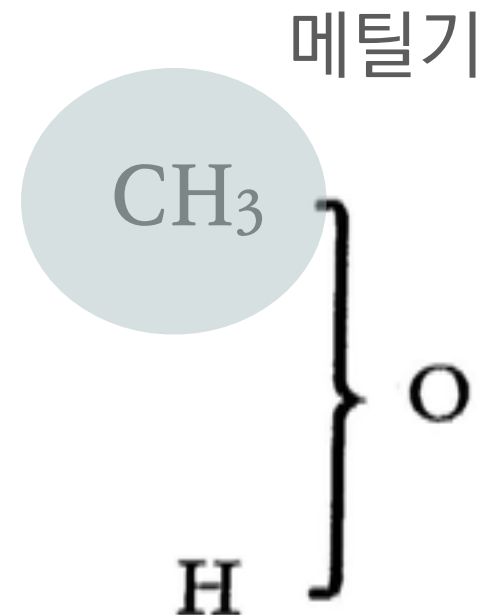
물



에탄올



에테르



메탄올

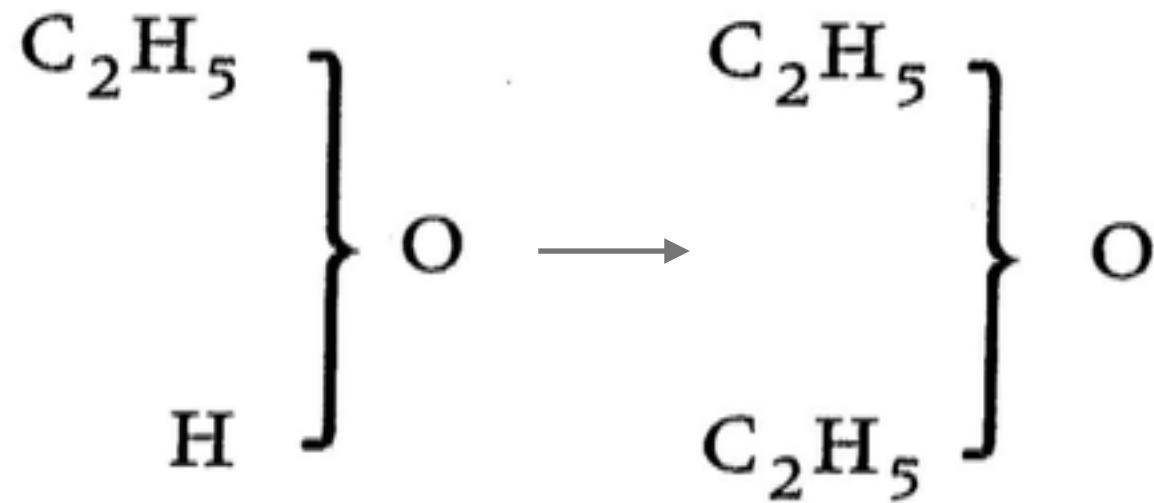
수소 유형, 암모니아 유형, 염산 유형 등 제안

점차 이런 유형들이 허구적인 것만은 아니라는 느낌 제공

# 에테르화

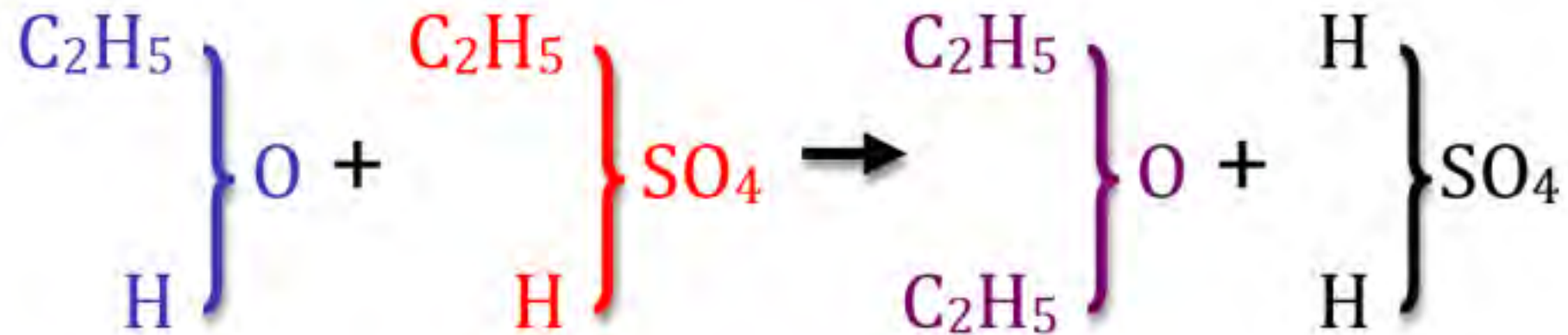
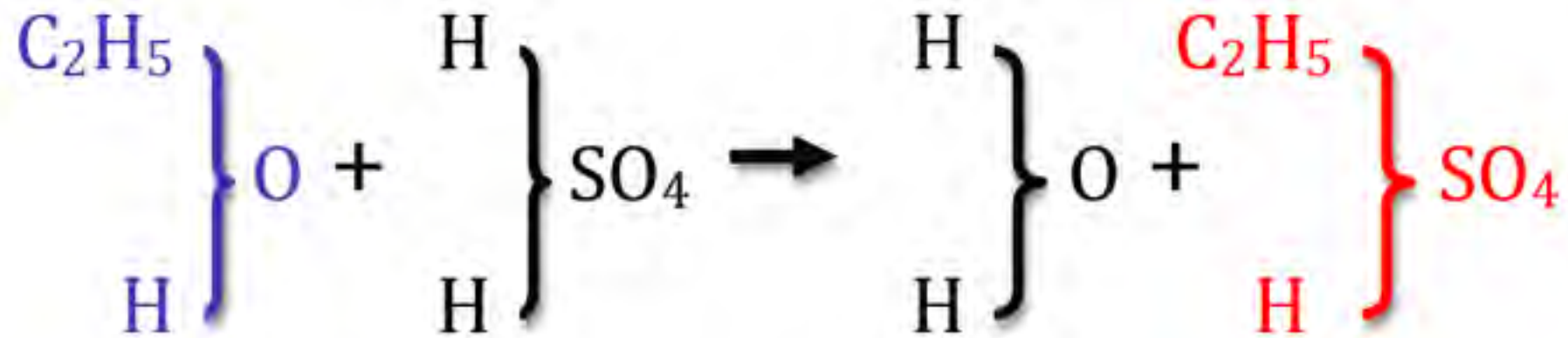
---

- ▶ 에탄올이 에테르로 변하면서 부산물로 물 산출
- ▶ 황산은 에테르화의 촉매로 황산 자체는 변하지 않음
- ▶ 어떻게 이러한 변화가 가능할까?



# 에테르화에 대한 윌리엄슨의 설명(1840)

.....

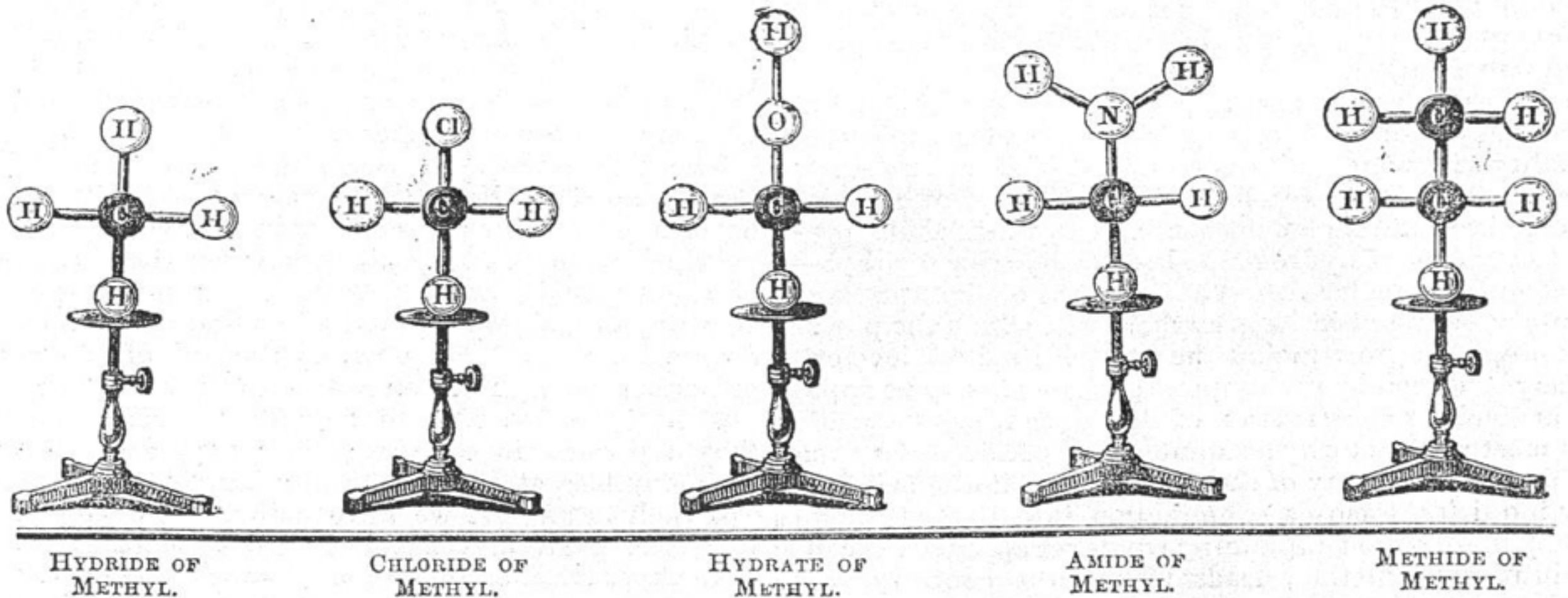


분류를 위해 만들었던 유형 이론이 화학반응 과정까지 설명












# 호프만의 당구공 모형

.....



탄소의 다리는 4개 / 질소의 다리는 3개 / 산소의 다리는 2개 / 수소의 다리는 1개

# 케쿨레의 소시지 모형

<i>Derivatives of Marsh Gas.</i>	Kekulé's graphic formulæ.	Modern structural formulæ.	Modern graphic formulæ.
Marsh gas .		CH <sub>4</sub>	$\begin{array}{c} \text{H} \diagdown \text{C} \diagup \text{H} \\ \text{H} \diagup \text{C} \diagdown \text{H} \end{array}$
Methyl chloride .		CH <sub>3</sub> · Cl	$\begin{array}{c} \text{H} \diagdown \text{C} \diagup \text{H} \\ \text{H} \diagup \text{C} \diagdown \text{Cl} \end{array}$
Carbonyl chloride		Cl · CO · Cl	$\text{O} = \text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{Cl} \\ \diagdown \text{Cl} \end{array}$
Carbonic anhydride		CO <sub>2</sub>	O = C = O
Prussic acid . .		H · CN	H - C ≡ N
<i>Derivatives of Ethane.</i>			
Ethyl chloride .		CH <sub>3</sub> · CH <sub>2</sub> · Cl	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{H} - \text{C} - \text{C} - \text{Cl} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$
Ethyl alcohol .		CH <sub>3</sub> · CH <sub>2</sub> · OH	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{H} - \text{C} - \text{C} - \text{OH} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$
Acetic acid . .		CH <sub>3</sub> · CO · OH	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{O} \\   \quad    \\ \text{H} - \text{C} - \text{C} - \text{OH} \\   \\ \text{H} \end{array}$
Acetamide . .		CH <sub>3</sub> · CO · NH <sub>2</sub>	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{O} \\   \quad    \\ \text{H} - \text{C} - \text{C} - \text{NH}_2 \\   \\ \text{H} \end{array}$

탄소의 길이는 4  
 질소의 길이는 3  
 산소의 길이는 2  
 수소의 길이는 1

# 다양한 유기화합물에 대한 질량 분석과 분자식

	기체비중	C	H	O	N	Cl	돌턴식	아보가드로식
메테인	16	3	1				CH <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
메틸클로라이드	50.5	12	3			35.5	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl	CH <sub>3</sub> Cl
메탄올	32	3	1	4			CH <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub> O
메틸아민	31	12	5		14		C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> N <sub>2</sub>	CH <sub>5</sub> N
에테인	30	4	1				C <sub>2</sub> H <sub>3</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
에탄올	46	12	3	8			C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O
에테르	74	24	5	8			C <sub>4</sub> H <sub>5</sub> O	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O
아세트산	60	6	1	8			CHO	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>
아세타민	59	24	5	16	14		C <sub>4</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub> N <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ON
벤젠	78	12	1				C <sub>2</sub> H	CH



# 원자가

---

- ▶ 한 원자가 몇 개의 다른 원자와 결합할 수 있는가
- ▶ 원자가 = 호프만의 막대 수 = 케쿨레의 소시지 길이
- ▶ 원자가에 기반한 185~60년대 유기화학의 성공적인 분자 모형
- ▶ 물 분자 구조의 확립 :  $\text{H}-\text{O}-\text{H}$
- ▶ 잘 맞지 않았던 부분들
  - ▶ 이산화탄소  $\text{O}=\text{C}=\text{O}$
  - ▶ 일산화탄소  $\text{O}=\text{C}=??$
- ▶ 유기화학 분야에서 화학결합의 원인에 대한 설명은 포기!

# 과학사와 과학 교육

---

- ▶ 과학 연구의 과정 vs. 과학 연구의 최종 결과
- ▶ 과학자 양성을 위한 과학 교육 vs. 시민을 위한 과학 교육
- ▶ 과학적 상식에 대한 주입식 교육 vs. 탐구에 의한 깨우침